



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 43 014 A1 2004.03.18

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 43 014.4

(22) Anmeldetag: 17.09.2002

(43) Offenlegungstag: 18.03.2004

(51) Int Cl.⁷: G01N 21/31

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

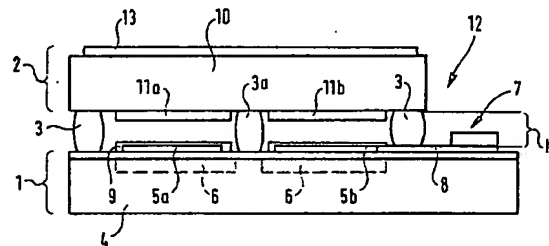
(72) Erfinder:

Fischer, Frank, 72810 Gomaringen, DE; Saettler, Michael, 72127 Kusterdingen, DE; Arndt, Michael, 72762 Reutlingen, DE; Krummel, Christian, 72138 Kirchentellinsfurt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Detektion und Vorrichtung zur Messung der Konzentration eines Stoffes**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Vorrichtung zur Detektion von Strahlungssignalen und eine Vorrichtung zur Messung der Konzentration eines Stoffes vorgeschlagen, wobei ein erster Detektor (5a) und ein zweiter Detektor (5b) auf einem ersten Chip (1) vorgesehen sind und wobei ein erster Filter (11a) und ein zweiter Filter (11b) auf einem zweiten Chip (2) vorgesehen sind, wobei der erste Chip (1) und der zweite Chip (2) hermetisch dicht miteinander verbunden sind.



Beschreibung**Stand der Technik**

[0001] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zur Detektion bzw. einer Vorrichtung zur Messung der Konzentration eines Stoffes nach der Gattung der nebengeordneten Ansprüche. Es sind bereits Vorrichtungen zur Detektion von Strahlungssignalen bekannt, die beispielsweise zur Bestimmung der Gaskonzentration mittels Infrarot-Absorption dienen. Störende Gase in einem Gasvolumen, beispielsweise im Innenraum eines Kraftfahrzeuges, sind beispielsweise CO₂, CO, H₂O oder auch CH₄, wobei das Kohlendioxid CO₂ insbesondere aus der Atemluft von in dem Gasvolumen befindlichen Personen bzw. auch aus CO₂-Klimaanlagen stammen kann. Solche störenden Gase werden gemäß allgemein bekannten Gasdetektoren detektiert. Solche Gasdetektoren finden auch in den Bereichen Laboranalytik, Sicherheitstechnik, Nahrungsmittelindustrie, Klimaanlage, Gebäudetechnik, Medizin, Haushalt, Umweltschutz usw. Anwendung. Zur Bestimmung der Konzentration solcher störender Gase werden unterschiedliche Sensorprinzipien verwendet, deren Einsatz im Wesentlichen von der Empfindlichkeit abhängig gemacht wird. Beispielsweise gibt es chemische Sensoren, bei denen eine chemisch reaktive Schicht ihren Widerstand ändert, wenn sie in Kontakt mit spezifischen Gasen kommt. Diese Sensoren sind jedoch sehr empfindlich, auch auf andere Gase als die zu detektierenden Gase oder aber auch empfindlich auf Umwelteinflüsse. Weiterhin ist die Langzeit-Stabilität solcher Sensoren ein Problem. Ein anderes physikalisches Verfahren macht die unterschiedliche thermische Leitfähigkeit von beispielsweise CO₂ und Luft, d.h. im Wesentlichen Stickstoff, zunutze, um Rückschlüsse auf den Kohlendioxid-Gehalt in einem Gasvolumen, beispielsweise im Innenraum eines Kraftfahrzeuges, zu ziehen. Weiterhin ist es bekannt, die Absorption von Infrarotlicht durch Gasmoleküle zur Detektion solcher Gasmoleküle einzusetzen. Wird nämlich ein Gasmolekül, das aus mehreren gleichen oder unterschiedlichen Atomen besteht, durch Infrarotlicht angeregt, so wird es in höhere Energiezustände überführt. Es werden beispielsweise Rotations- oder Vibrationsmomente angeregt, deren Energiezustand molekülspezifisch ist. Durch die Anregung der höheren Energiezustände wird der optischen Strahlung Energie entzogen; die charakteristischen Absorptionsbanden der Gase liegen typischerweise im Infrarotbereich bei Wellenlängen zwischen 1 µm und 10 µm. Dies bedeutet, dass Infrarotlicht, welches durch einen solchen gaserfüllten Raum läuft, zunehmend an Gesamtintensität verliert, wobei die Abschwächung eine Funktion der vorhandenen Gase und ihrer Konzentration ist. Durch die spektral aufgelöste Messung der Intensität kann die Intensität des Lichtes im Wellenlängenbereich der Absorptionsbanden der jeweiligen Gase ermittelt werden. Dadurch ist

es möglich, selbst Gemische aus mehreren Gasen mit hoher Auflösung aufzuschließen. Ein Gerät zur Bestimmung der Gaskonzentration durch Infrarotabsorption gemäß dem Stand der Technik ist in Fig. 1 dargestellt und besteht typischerweise aus einer Infrarotlichtquelle 20, einer Küvette 30 bzw. einer Röhre 30, die mit dem zu analysierenden Gasgemisch gefüllt ist und den Lichtstrahl führt, und einen oder mehrere Filter 41, 42, welche die spektrale Zerlegung des Infrarotlichtes bewirkt, wobei hinter den Filtern 41, 42 ein oder mehrere Detektoren 51, 52 vorgesehen sind mit dem bzw. mit denen die Intensität der Wärmestrahlung nach der spektralen Zerlegung gemessen wird. Solche bekannten Vorrichtungen weisen jedoch den Nachteil auf, dass sie kostspielige Anordnungen sind.

Aufgabenstellung

[0002] Die erfindungsgemäße Vorrichtung mit den Merkmalen der nebengeordneten Ansprüche hat dem gegenüber den Vorteil, dass eine kostengünstige Vorrichtung zur Detektion von Strahlungssignalen und eine kostengünstige Vorrichtung zur Messung der Konzentration eines Stoffes möglich sind. Weiterhin ist es vorteilhaft, dass die Vorrichtung eine erhöhte Dichtheit zwischen dem Filter und dem Detektor aufweist. Weiterhin ist es erfindungsgemäß vorteilhaft, dass eine einfache Aufbau- und Verbindungstechnik verwendet wird, was wiederum die Kosten senkt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist keine beweglichen Teile auf, weshalb eine große Fall- und Überlastfestigkeit gegeben ist. Es können durch die hermetische Verbindung zwischen Detektor und Filter eine enge Spezifikation der Filtertoleranzen gewährleistet werden. Weiterhin ist es erfindungsgemäß möglich, die Vorrichtung sehr klein auszubilden, was wiederum Kostenvorteile und Einbauvorteile mit sich bringt. Erfindungsgemäß ist es möglich und vorgesehen, eine Vielzahl von Filtern für zwei bis über sechs Gase gemeinsam und kombiniert miteinander auszubilden. Eine solche Integration von Filteranalys ist damit erfindungsgemäß kostengünstig und einfach möglich.

[0003] Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der in den nebengeordneten Ansprüchen angegebenen Vorrichtungen möglich.

[0004] Besonders vorteilhaft ist, dass die Detektoren als Thermopiles, temperatursensible Widerstände oder temperatursensible Dioden vorgesehen sind. Damit ist es möglich, auf kostengünstige und bewährte Bauelemente als Detektoren zurück zu greifen. Weiterhin ist es von Vorteil, dass eine Absorberschicht auf wenigstens einem der Detektoren vorgesehen ist. Hierdurch kann die Effektivität und die Sensibilität des Detektors erhöht werden. Weiterhin ist von Vorteil, dass der erste Chip ein erstes Substrat umfasst, wobei der erste und zweite Detektor von

dem ersten Substrat thermisch entkoppelt ist.
 [0005] Dadurch ist es erfindungsgemäß möglich, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung besonders unempfindlich gegen äußere Störgrößen wie beispielsweise die Umgebungstemperatur ist. Weiterhin ist von Vorteil, dass der erste und/oder zweite Filter als Fabry-Perot-Filter vorgesehen ist. Dadurch ist es besonders einfach und kostengünstig möglich, einen schmalbandigen Filter vorzusehen.

Ausführungsbeispiel

[0006] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

[0007] Es zeigen:

[0008] **Fig. 1** eine Anordnung zur Messung der Gaskonzentration gemäß dem Stand der Technik,

[0009] **Fig. 2** eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Detektion von Strahlungssignalen und

[0010] **Fig. 3** einen bekannten Fabry-Perot-Filter.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

[0011] In **Fig. 1** ist die bereits beschriebene Anordnung zur Detektion einer Gaskonzentration dargestellt. In der Röhre **30** bzw. in der Küvette **30** befinden sich zum einen die mittels der Bezugszeichen **21**, **22** bezeichneten Strahlengänge bzw. Strahlenverläufe der Infrarotstrahlung, ausgehend von der Lichtquelle **20** und die zu detektierenden Gasmoleküle **35**. Am Ort der Filter **51**, **52** ist die Strahlung, ausgehend von der Strahlungsquelle **20**, in bestimmten Wellenlängenbereichen durch die Gasmoleküle abgeschwächt. Der Abfall der Intensität des Lichtes durch Infrarotabsorption wird in gasspezifischen Wellenlängenbereichen gemessen. Zur Separierung der interessanten Wellenlängenbereiche wird das erste Filter **41** eingesetzt, welches nur schmalbandige Transmission zulässt. Die transmittierte Strahlung wird dann mittels einem wellenlängenunspezifischen Detektor **51** hinter dem Filter **41** gemessen. Um Rückschlüsse auf die Gaskonzentration zu ziehen, wird die Infrarotintensität im Bereich der Absorptionsbande – über den Filter und Detektor **41**, **51** – mit der Intensität der Lampe in einem Referenzbereich – zweiten Filter und Detektor **42**, **52** – verglichen, in dem es zu keiner signifikanten Infrarotabsorption durch relevante Gase kommt. Hierfür wird der weitere Filter **42** und der entsprechende Detektor **52** benötigt, der ein definiertes Referenzspektrum passieren lässt.

[0012] In **Fig. 2** ist der prinzipielle Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Detektion von Strahlungssignalen bzw. der erfindungsgemäße Sensor schematisch dargestellt. Der Sensor umfasst erfindungsgemäß einen Detektorchip **1** und einen Filterchip **2**, wobei der Filterchip **2** mit einem Wafer-Bonding-Verfahren über Verbindungsstege **3** auf dem Detektorchip **1** aufgebracht ist. Der Detektorchip **1** wird im Folgenden auch als erster Chip **1** bezeichnet

und umfasst ein erstes Substrat **4**, welches insbesondere als Siliziumsubstrat **4** vorgesehen ist. Auf dem ersten Substrat **4** ist ein erster Temperaturfühler **5a** und ein zweiter Temperaturfühler **5b** als erster Detektor **5a** und zweiter Detektor **5b** angeordnet. Erfindungsgemäß ist es durchaus vorgesehen, dass weitere Temperaturfühler, die jedoch in **Fig. 2** nicht dargestellt sind, auf dem ersten Substrat **4** angeordnet sind. Die Temperaturfühler **5a**, **5b** bzw. Detektoren **5a**, **5b** können beispielsweise als Thermopiles, als temperatursensible Widerstände oder als temperatursensible Dioden vorgesehen sein. Auf dem ersten Detektor **5a** bzw. dem zweiten Detektor **5b** kann es erfindungsgemäß vorgesehen sein, jeweils eine Absorberschicht aufzubringen. Diese Absorberschicht ist in **Fig. 2** für den ersten Detektor **5a** mit dem Bezugszeichen **9** bezeichnet. Die Absorberschicht **9** ist zur Absorption langwelliger Infrarotstrahlung geeignet. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass der Absorber bei Temperaturen beständig ist, wie sie bei dem erfindungsgemäß eingesetzten Bond-Verfahren zwischen dem ersten Chip **1** und dem zweiten Chip **2** eingesetzt werden. Folgende Materialien sind erfindungsgemäß als Absorberschicht vorgesehen:

Beständige Polymere, dotierte Gläser, dielektrische Schichtfolgen, hochdotierte Halbleiter, schmalbandige Halbleiter, Metalle o.ä. Erfindungsgemäß ist es weiterhin vorgesehen, eine thermische Entkopplung zwischen dem Detektor **5a**, **5b** und dem ersten Substrat **4** vorzusehen. Hierzu ist beispielsweise ein Hohlraum zwischen dem Detektor **5a**, **5b** und dem ersten Substrat **4** vorgesehen, wie er in **Fig. 2** mittels des Bezugszeichens **6** dargestellt ist. Zur Erzeugung eines solchen Hohlraums **6** bzw. einer solchen Kaverte **6** wird beispielsweise eine Oberflächenmikromechanik-Technik eingesetzt. Für solche Techniken ist die Verwendung von porösem Silizium in Teilbereichen des ersten Substrats **4** und anschließendem Umlagern des porösen Siliziums derart, dass ein tiefer gelegener Bereich vorgesehen ist, der einen Hohlraum bildet und dass ein höher gelegener Bereich vorgesehen ist, welcher eine Deckschicht des ersten Substrats **4** zur Aufnahme des Detektors **5a**, **5b** bildet. Weiterhin ist es möglich, einen solchen Hohlraum **6** mittels einer bekannten Ätzung durch Xenondifluorid, C1F3, C1F5, durch andere Interhalogenverbindungen, die das Substrat **4** isotrop ätzen können, oder durch plasmaaktiviertes NF3, durchzuführen.

[0013] Neben dem Detektor **5a**, **5b** ist es erfindungsgemäß auch vorgesehen, dass ein Heizleiter im Bereich der Detektoren **5a**, **5b** vorgesehen ist. Dies ist jedoch in **Fig. 2** nicht dargestellt. Ein solcher Heizleiter ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Selbsttest des Sensors bzw. der Vorrichtung vorgesehen. Über den Heizleiter wird erfindungsgemäß ein kurzzeitiger Wärmepuls auf der thermisch entkoppelten Fläche des Detektors **5a**, **5b** erzeugt. Damit ist die Funktion des Thermofühlers **5a**, **5b** prüfbar.
 [0014] Anschlüsse des Temperaturfühlers **5a**, **5b** werden über Leiterbahnen, die in **Fig. 2** mit dem Be-

zugszeichen 8 versehen sind, auf Bond-Pads 7 geführt. Die Leiterbahnen 8 sollen eine geringe Topographiebreite von $< 5 \mu\text{m}$ aufweisen, so dass die Bondverbindung 3 zwischen dem ersten Chip 1 und dem zweiten Chip 2 einen hermetischen Einschluss der filigranen Thermofühler 5a, 5b gewährleistet. Erfindungsgemäß können die Thermofühler 5a, 5b auch durch Bond-Stege voneinander getrennt sein. Ein solcher trennender Bond-Steg ist in Fig. 2 mit dem Bezugszeichen 3a bezeichnet. Durch solche trennenden Bond-Stege 3a können die Thermofühler 5a, 5b besser getrennt und besser entkoppelt vorgesehen sein. Die Höhe h der Bondstege 3, 3a wird derart gelegt, dass der Thermofühler 5a, 5b nicht in mechanischem Kontakt mit den Filterschichten, die in Fig. 2 mit dem Bezugszeichen 11a, 11b bezeichnet sind, kommen kann. Eine mit dem Bezugszeichen h versehene Höhe der Bond-Stege 3, 3a von $3 \mu\text{m}$ bis $12 \mu\text{m}$ ist erfindungsgemäß ausreichend. Jedoch ist dieser Wert für die Funktionalität des Sensors bzw. der Vorrichtung nicht von größerer Bedeutung.

[0015] Der Filterchip 2, der im Folgenden auch als zweiter Chip 2 bezeichnet wird, umfasst einen Träger 10, wobei der Träger 10 beispielsweise als ein Siliziumsubstrat oder auch als ein Glassubstrat vorgesehen ist. Auf der Unterseite des Trägers 10, der im Folgenden auch als zweites Substrat 10 bezeichnet wird, sind Fabry-Perot-Filter 11a und 11b vorgesehen. Diese werden im Folgenden auch als erster Filter 11a und als zweiter Filter 11b bezeichnet. Der erste Filter 11a dient erfindungsgemäß zur Filterung der Referenzwellenlänge und der zweite Filter b dient der Filterung der Analysewellenlänge. Die Analysewellenlänge wird im Folgenden auch als Absorptionsbande bezeichnet. Die Filter 11a, 11b sind erfindungsgemäß insbesondere als ein Einschichtsystem, beispielsweise aus Siliciumdioxid oder Siliciumnitrid, vorgesehen, oder sie können auch aus Vielfachschichten aufgebaut sein. Erfindungsgemäß ist der erste Filter 11a für eine Referenzwellenlänge ausgelegt. Der zweite Filter 11b ist für die Analysewellenlänge im Bereich der Absorptionsbande des zu detektierenden Gases vorgesehen. Die Filter 11a, 11b müssen sich daher unterscheiden und müssen somit lokal strukturiert und getrennt voneinander hergestellt werden. Im Filterchip 2 bzw. im zweiten Chip 2, der als Kappe für den ersten Chip 1 bzw. den Detektorchip 1, wirken soll, sind Aussparungen 12 geätzt, durch welche Bond-Drähte, die jedoch in Fig. 2 nicht dargestellt sind, an die Metallkontakte 7 bzw. Bond-Pads 7 herangeführt werden können. Bei der Erzeugung des Durchgangsloches 12 muss darauf geachtet werden, dass die Filterstrukturen 11a, 11b nicht angeätzt werden.

[0016] Zur Verbindung des Kappenchips 2 bzw. des zweiten Chips 2 mit dem Detektorchip 1 wird ein Bond-Verfahren eingesetzt, wobei hier anodisches Bonden, Seal-Glas-Bonden, Polymere-Bonden, eutektisches Bonden, Laserdurchstrahlschweißen oder ein anderes Verfahren erfindungsgemäß einge-

setzt werden. Derartige Bond-Verfahren arbeiten in der Regel bei Temperaturen von 150°C bis etwa 500°C . Aus diesem Grund ist es notwendig, dass die Materialien der beteiligten Filterstrukturen 11a, 11b, der beteiligten Detektorstrukturen 5a, 5b und der Absorberschicht 9 bei diesen Temperaturen nicht zerlegt werden. Erfindungsgemäß wird bevorzugt, ein Verkappungsverfahren zu verwenden, bei dem Vakuum unterhalb des zweiten Chips 2 erzeugt werden kann. Dadurch ist es erfindungsgemäß möglich, eine thermische Entkopplung des Detektors 5a, 5b von der Umgebung hervorzurufen bzw. zu vergrößern. Die Verkappung des ersten Chips 1 mit dem zweiten Chip 2 erfolgt erfindungsgemäß insbesondere auf Wafer-Ebene, d.h. eine Vielzahl von zweiten Chips 2 werden in Form eines Kappen-Wafers mit den darauf aufgebrachten Filtern 11a, 11b beispielsweise mit einem Seal-Glas (beim Seal-Glas-Bonden) bedruckt, anschließend getempert und auf eine Mehrzahl von ersten Chips 1, die zusammen den Detektorwafer bilden, gebondet. Danach kann die gesamte Anordnung aus Filter und Detektor auf Waferebene elektrisch und eventl. auch elektrooptisch getestet werden. Erst im Anschluss daran werden die einzelnen erfindungsgemäßen Vorrichtungen, bei denen der erste Chip 1 mit dem zweiten Chip 2 verbunden ist, durch bekannte Verfahren gesägt und vereinzelt.

[0017] Zur Detektion von Gasen kann die Lichtquelle, die in Fig. 1 mit dem Bezugszeichen 20 versehen ist, mit der die breitbandige Infrarotstrahlung erzeugt wird, gepulst betrieben werden. Dies ist vorteilhaft, wenn die thermische Entkopplung des Fühlers 5a, 5b durch den Hohlraum 6 bzw. die Kaveme 6 mangelhaft ist und im kontinuierlichen Betrieb eine signifikante Erwärmung der Umgebung des Fühlers 5a, 5b eintritt. Eine weitere erfindungsgemäße Möglichkeit, einer solchen unvorteilhaften Erwärmung der Umgebung des Fühlers 5a, 5b zu begegnen, besteht darin, auf der den Filterschichten 11a, 11b gegenüber liegenden Seite des zweiten Chips 2 einen, in Fig. 2 mit dem Bezugszeichen 13 versehenen Passfilter aufzubringen, welcher Wellenlängen zwischen der Absorptionskante des Materials des zweiten Chips, d.h. im Wesentlichen des Materials des zweiten Substrats 10 und den Referenz- bzw. Detektionswellenlängen abschneidet. An der Stelle des Passfilters 13 kann es erfindungsgemäß auch vorgesehen sein, eine Antireflexionsschicht vorzusehen. Diese Antireflexionsschicht kann erfindungsgemäß durchaus auch zusätzlich zum Passfilter 13 vorgesehen sein. Bei der Verwendung von Silizium als zweites Substrat 10 entspricht der Absorptionskante beispielsweise eine Wellenlänge von ca. $1 \mu\text{m}$. Durch das erfindungsgemäße Aufbringen des Passfilters 13 wird verhindert, dass höhere Filterordnungen bei der Messung eine Rolle spielen. Der Passfilter 13 kann auch in der Verpackung des Sensorelements integriert sein. Die Schicht 13 ist erfindungsgemäß insbesondere aus einem Polymer, einem Halbleiter, einer dielektrischen Vielfachschicht o.ä. vorgesehen.

[0018] Erfindungsgemäß wird ein neuartiger, kostengünstiger Sensor bzw. eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Verfügung gestellt, mit dem bzw. bei der Lichtintensität auf einfache Weise spektral aufgelöst gemessen werden kann. Derartige Sensoren bzw. Vorrichtungen sollen erfindungsgemäß zur Bestimmung der Zusammensetzung von Gemischen aus zwei oder mehreren Gasen eingesetzt werden. Sowohl der Filter 11a, 11b als auch der Detektor 5a, 5b werden bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit Methoden der Silizium-Mikromechanik hergestellt. Es handelt sich um eine Vorrichtung, bei der die Filter 11a, 11b und die Detektoren 5a, 5b in einer einzigen Vorrichtung integriert vorgesehen sind. Der erste Chip oder auch Detektorchip 1 wird vollständig in Oberflächenmikromechanik hergestellt. Die Detektorstruktur 5a, 5b wird anschließend verkappt. Erfindungsgemäß werden diskrete statische Filter in der Kappe vorgesehen, die zur Filterung der Absorptions- und Referenzbanden über den Detektorstrukturen 5a, 5b platziert werden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann, insbesondere auf der Oberseite des zweiten Chips, weitere Passfilterschichten 13 umfassen, die höhere Ordnungen der Fabry-Perot-Filter bzw. der Filter 11a, 11b unterdrücken, was zu einer Absorption bei kürzeren Wellenlängen führt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. der erfindungsgemäße Sensor besitzt mehrere entscheidende Vorteile gegenüber bisher bekannten Vorrichtungen, was sich insbesondere auf die kostengünstige Herstellbarkeit durch eine Batch-Prozessierung in Siliziummikromechanik bezieht, auf einen vergleichsweise einfachen Aufbau bzw. eine einfache Aufbau- und Verbindungstechnik und die Möglichkeit zur Integration von mehreren Filterarrays für 2 bis über 6 Gase.

[0019] In Fig. 3 ist schematisch der Aufbau eines Fabry-Perot-Filters dargestellt. Eine solche Struktur ist insgesamt mittels des Bezugszeichens 11 dargestellt. Eine solche Struktur ist in der erfindungsgemäßen Vorrichtung einsetzbar. Prinzipiell besteht ein Fabry-Perot-Filter 11 aus zwei planparallelen Spiegeln, zwischen denen ein Medium 24 liegt, das den optischen Weg und damit die zentrale Wellenlänge der Passfilterfunktion bestimmt. Die Dicke und der Brechungsindex der Filterkavität 24 bzw. des Mediums 24 bestimmt die mittlere Filterwellenlänge. Die Einstellung der Referenz- und Analysewellenlänge der Vorrichtung erfolgt über die Auslegung dieses Mediums 24 bzw. dieser Filterkavität 24 mittels ihrer Schichtdicke, ihres Brechungsindex und ob diese Schicht aus mehreren Lagen besteht oder nicht. Die beiden Spiegel des Fabry-Perot-Filters 11 werden beispielsweise durch einen Sprung im Brechungsindex zwischen dem Material des Mediums 24 und dem Material des zweiten Substrats 10 bzw. zwischen dem Material des Mediums 24 und dem Material der Abdeckschicht 23 erzeugt. Um die Filtercharakteristik des Fabry-Perot-Filters 11 zu schärfen, kann das zweite Substrat 10 und die Abdeckschicht

23 auch aus Vielschichten bzw. aus semitransparenten Metallschichten erzeugt werden. Erfindungsgemäß besteht die Abdeckschicht 23 aus einem Material, welches resistent gegen Prozesse zur Kappungsstrukturierung, wie beispielsweise KOH-Ätzen o.ä. oder gegen Prozesse der Strukturierung von dielektrischen Schichten bei der Filterherstellung wie beispielsweise HF-Ätzen ist. Erfindungsgemäß wird bevorzugt, sowohl für den ersten Filter 11a als auch für den zweiten Filter 11b einen Schichtsandwich zur Erzeugung des Filters 11a, 11b zu verwenden, wobei für die Abdeckschicht 23 als Material Polysilizium, Siliziumdioxid und/oder Siliziumnitrid gewählt wird. Der Grad der Reflektivität der Spiegel bestimmt die Breite der Filterfunktion.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Detektion von Strahlungssignalen mit einem ersten Detektor (5a), mit einem zweiten Detektor (5b), mit einem ersten Filter (11a) und mit einem zweiten Filter (11b), **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste und zweite Detektor (5a, 5b) auf einem ersten Chip (1) vorgesehen ist, dass der erste und zweite Filter (11a, 11b) auf einem zweiten Chip (2) vorgesehen ist und dass der erste Chip (1) und der zweite Chip (2) hermetisch dicht miteinander verbunden, insbesondere mittels eines Wafer-Bonding-Verfahrens, sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren (5a, 5b) als Thermopiles, temperatursensible Widerstände oder temperatursensible Dioden vorgesehen sind.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Absorberschicht (9) auf wenigstens einem der Detektoren (5a, 5b) vorgesehen ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Chip (1) ein erstes Substrat (4) umfasst, wobei der erste und zweite Detektor (5a, 5b) von dem ersten Substrat (4) thermisch entkoppelt ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und/oder der zweite Filter (11a, 11b) als Fabry-Perot-Filter vorgesehen ist.

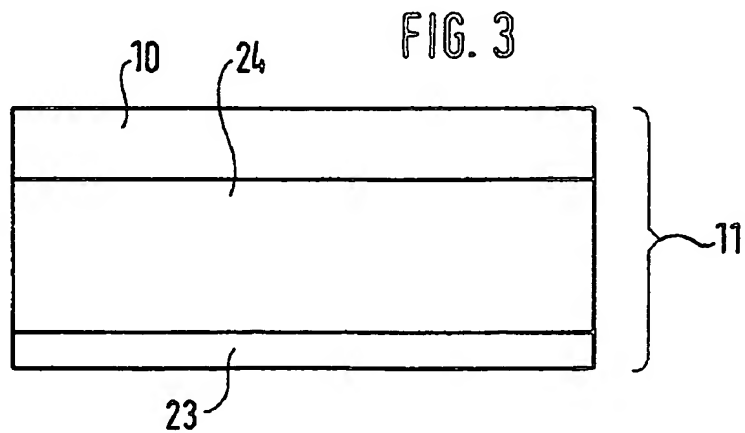
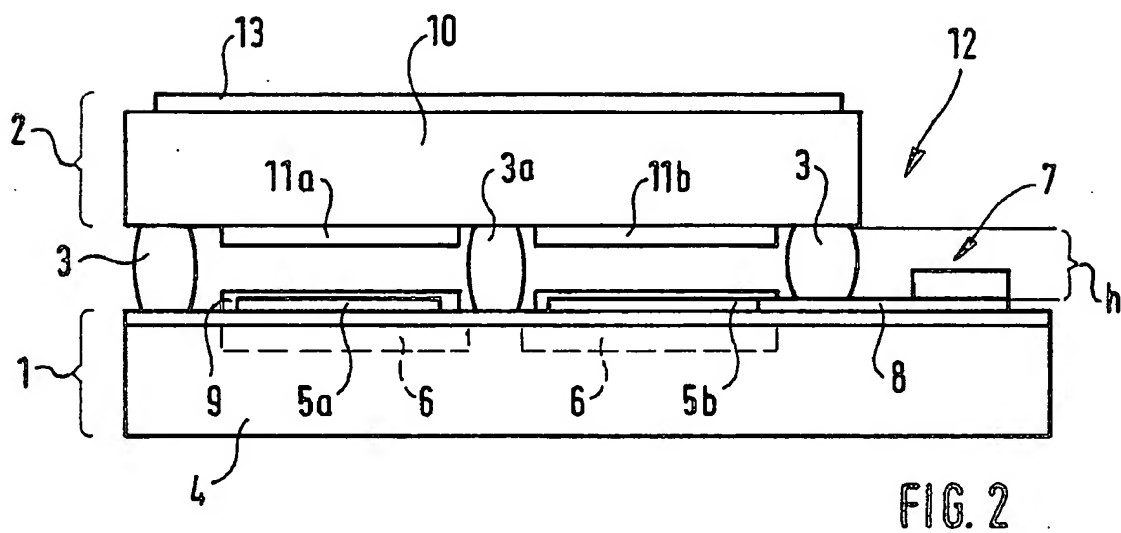
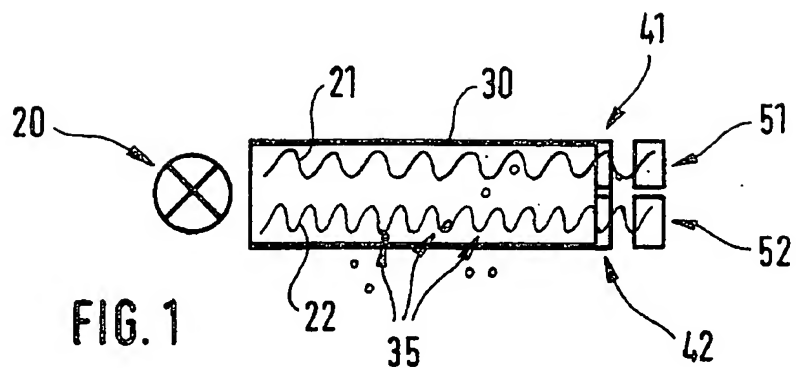
6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass außer dem ersten und zweiten Detektor (5a, 5b) weitere Detektoren und außer dem ersten und zweiten Filter (11a, 11b) weitere Filter vorgesehen sind.

7. Vorrichtung zur Messung der Konzentration eines Stoffes im Strahlengang einer Strahlungsquelle mit einer Vorrichtung zur Detektion von Strahlungssi-

DE 102 43 014 A1 2004.03.18

gnalen nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen





[10191/3616]

DEVICE FOR DETECTING AND DEVICE FOR MEASURING THE CONCENTRATION
OF A SUBSTANCE

Background Information

The present invention starts out from a device for detecting and a device for measuring the concentration of a substance of the type set forth in the alternative independent claims. Devices for detecting radiation signals are already known and are used, for example, for determining the concentration of a gas using infrared absorption. Interfering gases in a gas volume, for example, in the interior of a motor vehicle, are, for example, CO₂, CO, H₂O or also CH₄, carbon dioxide CO₂ originating, in particular, from the respired air of persons in the gas volume or also from CO₂ air-conditioning systems. Such interfering gases are detected using generally known gas detectors. Such gas detectors are also used in the area of laboratory analysis, safety technology, the food industry, air-conditioning systems, building technology, medicine, the household, environmental protection, etc.. Different sensor principles, whose use depends essentially on the sensitivity, are used to determine the concentration of such interfering gases. For example, there are chemical sensors in which the resistance of a chemically reactive layer changes when it comes into contact with specific gases. However, these sensors are very sensitive, even to gases other than those that are to be detected, or also to environmental effects. Furthermore, the long-term stability of such sensors is a problem. Another physical method makes use of the different thermal conductivities of, for example, CO₂ and air, that is, essentially nitrogen, in order to draw conclusions concerning the carbon dioxide content in a gas volume, such as

in the interior of a motor vehicle. Furthermore, it is known that the absorption of infrared light by gas molecules may be used to detect such gas molecules. If, namely, a gas molecule, which is made up of several identical or different atoms, is stimulated by infrared light, it is converted to higher energy states. For example, rotational or vibrational moments are stimulated, whose energy state is specific to the molecule. By stimulating the higher energy states, energy is withdrawn from the optical radiation; the characteristic absorption bands of gases typically are in the infrared range for wavelengths between 1 μm and 10 μm . This means that infrared light passing through such a gas-filled space increasingly loses total intensity, the attenuation being a function of the gases present and of their concentration. The intensity of the light in the wavelength region of the absorption bands of the respective gases can be determined by a spectrally resolved measurement of the intensity. It is thereby possible to break down even mixtures of several gases with a high degree of resolution. An instrument for determining the gas concentration by infrared absorption according to the related art is shown in Figure 1 and typically includes an infrared light source 20, a cuvette 30 or a tube 30, which is filled with the gas mixture to be analyzed and carries the light beam, and one or more filters 41, 42 which bring about the spectral dispersion of the infrared light, one or more detectors 51, 52 with which the intensity of the thermal radiation is measured after the spectral dispersion being provided behind filters 41, 42. However, such known devices have the disadvantage that they are expensive systems.

Summary of the Invention

In comparison, the device of the present invention having the features of the alternative independent claims has the advantage that a cost-effective device for detecting radiation signals and a cost-effective device for measuring the concentration of a substance are possible. Furthermore, it is advantageous that the device exhibits greater leak tightness between the filter and the detector. Furthermore, it is advantageous pursuant to the invention that a simple construction and connection technique is employed, which, in turn, lowers the costs. The inventive device has no moving parts, so that it is able to withstand being dropped and has a high overload resistance. Due to the hermetic connection between detector and filter, a narrow specification for filter tolerances can be ensured. Furthermore, pursuant to the invention, the device may be made very small, resulting, in turn, in cost advantages as well as in installation advantages. According to the present invention, it is possible and intended to develop a plurality of filters for two to more than six gases jointly and combined with one another. Such an integration of filter arrays according to the invention is therefore possible in a cost-effective and simple manner.

The measures listed in the dependent claims permit advantageous further developments of and improvements to the devices given in the alternative independent claims.

It is particularly advantageous that the detectors are provided as thermopiles, temperature-sensitive resistors or temperature-sensitive diodes. It is thus possible to resort to cost-effective and proven components as detectors. Furthermore, it is of advantage that an absorber layer is provided on at least one of the detectors. The effectiveness and sensitivity of the detector may thereby be increased. Furthermore, it is of

advantage that the first chip includes a first substrate, the first and second detectors being thermally decoupled from the first substrate. According to the present invention, it is thereby possible for the inventive device to be particularly insensitive to external disturbance variables such as the ambient temperature. Furthermore, it is of advantage that the first and/or second filter is a Fabry-Perot filter. As a result, it is possible to provide a narrow-band filter particularly simply and cost-effectively.

Brief Description of the Drawings.

An exemplary embodiment of the present invention is explained in greater detail in the specification below and is shown in the drawing, in which

Figure 1 shows a system according to the related art for measuring the gas concentration;

Figure 2 shows a device according to the present invention for detecting radiation signals; and

Figure 3 shows a known Fabry-Perot filter.

Summary of the Invention

Figure 1 shows the system already described for detecting a gas concentration. In tube 30 or in cuvette 30 are, first of all, the beam paths or beam courses of the infrared radiation which are labeled 21 and 22 and start out from light source 20, and gas molecules 35 to be detected. The radiation, which starts out from radiation source 20, has been attenuated at filters 51, 52 [sic; 41, 42] by the gas molecules in certain wavelength regions. The decrease in the intensity of the light by the

infrared absorption is measured in gas-specific wavelength regions. First filter 41, which permits only narrow-band transmission, is used to separate the wavelength regions of interest. The transmitted radiation is then measured downstream of filter 41 by a wavelength-unspecific detector 51. In order to draw conclusions concerning the gas concentration, the infrared intensity in the area of the absorption bands - via the filter and detector 41, 51 - is compared with the intensity of the lamp in a reference region - second filter and detector 42, 52 - in which there is no significant infrared absorption by relevant gases. For this purpose, further filter 42, which permits passage of a defined reference spectrum, and corresponding detector 52 are required.

In Figure 2, the fundamental construction of a device of the present invention for detecting radiation signals, i.e. the sensor of the present invention, is shown diagrammatically. Pursuant to the invention, the sensor has a detector chip 1 and a filter chip 2, filter chip 2 being applied on detector chip 1 by a wafer-bonding method via connecting webs 3. In the following, detector chip 1 is also referred to as first chip 1 and includes a first substrate 4, which is provided particularly as silicon substrate 4. A first temperature sensor 5a and a second temperature sensor 5b are disposed as first detector 5a and second detector 5b on first substrate 4. Pursuant to the invention, it is entirely possible that further temperature sensors, which are, however, not shown in Figure 2, are disposed on first substrate 4. Temperature sensors 5a, 5b, i.e. detectors 5a, 5b may be provided, for example, as thermopiles, as temperature-sensitive resistors or as temperature-sensitive diodes. Pursuant to the invention, an absorber layer may be applied on first detector 5a and/or second detector 5b. In

Figure 2, this absorber layer for first detector 5a is marked by reference number 9. Absorber layer 9 is suitable for absorbing long wavelength infrared radiation. Pursuant to the invention, the absorber is stable at temperatures used in the bonding method, employed pursuant to the invention, between first chip 1 and second chip 2. In the present invention, the following materials are used as absorber layer:

Stable polymers, doped glasses, sequences of dielectric layers, highly doped semiconductors, narrow-band semiconductors, metals, etc. Pursuant to the invention, thermal decoupling is furthermore provided between detectors 5a, 5b and first substrate 4. For this purpose, a cavity, for example, is provided between detectors 5a, 5b and first substrate 4, as indicated in Figure 2 by reference numeral 6. A surface micro-mechanical technique is employed, for instance, to produce such a cavity 6 or such a cavern 6. For such techniques, porous silicon is used in partial regions of first substrate 4. Subsequently, the porous silicon is rearranged in such a manner that a lower region is provided, which forms a cavity, and that a higher region is provided, which forms a covering layer for first substrate 4 for accommodating detectors 5a, 5b. Furthermore, it is possible to produce such a cavity 6 using a known etching by xenon difluoride, ClF_3 , ClF_5 , by other interhalogen compounds which are able to etch substrate 4 isotropically, or by plasma-activated NF_3 .

In addition to detectors 5a, 5b, a heating conductor is also provided, pursuant to the invention, in the area of detectors 5a, 5b. However, this is not shown in Figure 2. Such a heating conductor is provided in the inventive device for self-testing the sensor or the device. According to the present invention, a

brief thermal pulse is produced by way of the heating conductor on the thermally decoupled area of detectors 5a, 5b. The function of temperature sensors 5a, 5b may thereby be tested.

Terminals of temperature sensors 5a, 5b are connected to bonding pads 7 via conductor tracks provided with reference numeral 8 in Figure 2. Conductor tracks 8 should have a small topographic width of less than $5\text{ }\mu\text{m}$, so that bonding connection 3 between first chip 1 and second chip 2 ensures a hermetic inclusion of filigrained temperature sensors 5a, 5b. Pursuant to the invention, temperature sensors 5a, 5b may also be separated from one another by bonding webs. Such a bonding web is labeled 3a in Figure 2. Temperature sensors 5a, 5b may be separated better and decoupled better by such separating bonding webs 3a. Height h of bonding webs 3, 3a is such that temperature sensors 5a, 5b are unable to come into mechanical contact with the filter layers, which are labeled 11a, 11b in Figure 2. Pursuant to the invention, a height h of $3\text{ }\mu\text{m}$ to $12\text{ }\mu\text{m}$ is sufficient for bonding webs 3, 3a. However, this value is not of major importance for the functionality of the sensor or of the device.

Filter chip 2, also referred to in the following as second chip 2, includes a carrier 10, the latter being provided, for example, as a silicon substrate or also as a glass substrate. On the underside of carrier 10, also referred to in the following as second substrate 10, Fabry-Perot filters 11a and 11b are provided. They are also referred to in the following as first filter 11a and second filter 11b. According to the invention, first filter 11a is used to filter the reference wavelength and second filter b is used to filter the analysis wavelength. In the following, the analysis wavelength is also referred to as absorption bands. Pursuant to the invention, filters 11a, 11b

are provided, in particular, as a monolayer system, for example, made of silicon dioxide or silicon nitride. They may also be constructed as multilayers. Pursuant to the invention, first filter 11a is designed for a reference wavelength. Second filter 11b is provided for the analysis wavelength in the region of the absorption bands of the gas to be detected. Filters 11a, 11b must therefore differ from one another and accordingly must be locally patterned and produced separately from one another. In filter chip 2 or second chip 2, which is to act as a cap for first chip 1 or detector chip 1, recesses 12 are etched, through which bonding wires, which are not shown in Figure 2, may be passed to metal contacts 7 or bonding pads 7. In producing through hole 12, care must be taken that filter structures 11a, 11b are not etched.

A bonding method is used to connect cap chip 2 or second chip 2 to detector chip 1, anodic bonding, seal-glass bonding, polymer bonding, eutectic bonding, laser transmission welding or a different method being used here pursuant to the invention. Such bonding methods usually are carried out at temperatures of 150°C to about 500°C. For this reason, it is necessary that the materials of filter structures 11a, 11b involved, of detectors structures 5a, 5b involved and of absorber layer 9 are not decomposed at these temperatures. Pursuant to the invention, a capping method preferably is used, in which a vacuum can be produced underneath second chip 2. It is thereby possible, pursuant to the invention, to bring about or increase a thermal decoupling of detectors 5a, 5b from the surroundings. Pursuant to the invention, chip 1 is capped with second chip 2 especially at the wafer level, that is, a plurality of second chips 2 are printed in the form of a cap wafer with filters 11a, 11b applied thereon, for example, with a seal glass (in the case of seal

glass bonding), subsequently annealed and bonded on a plurality of first chips 1, which jointly form the detector wafer.

Subsequently, the entire arrangement of filter and detector may be tested electrically and possibly also electrooptically on the wafer level. Only subsequently are the individual devices of the present invention, for which first chip 1 is connected to second chip 2, sawn and separated using known methods.

For detecting gases, the light source, which is given reference number 20 in Figure 1 and with which the broad-band infrared radiation is generated, may be operated in pulsed fashion. This is advantageous if the thermal decoupling of sensors 5a, 5b by cavity 6 or cavern 6 is inadequate and there is significant heating of the surroundings of sensors 5a, 5b during continuous operation. A further inventive possibility to counter such a disadvantageous heating of the surroundings of sensors 5a, 5b is to mount on the side of second chip 2 opposite filter layers 11a, 11b, pass filters, labeled 13 in Figure 2, which cut off wavelengths between the absorption edge of the material of the second chip, that is, essentially the material of second substrate 10 and the reference or detection wavelengths. Instead of pass filter 13, an anti-reflection layer may also be provided pursuant to the invention. According to the present invention, this antireflection layer may also be provided in addition to pass filter 13. When silicon is used as second substrate 10, the absorption edge corresponds, for example, to a wavelength of about 1 μm . Mounting pass filter 13 pursuant to the invention prevents higher filter orders from playing a role during the measurement. Pass filter 13 may also be integrated in the packaging of the sensor element. Pursuant to the invention, layer 13 is made in particular of a polymer, a semiconductor, a dielectric multilayer or the like.

According to the present invention, a novel, cost-effective sensor or an inventive device is made available, with which the light intensity, resolved spectrally, may be measured in a simple way. Pursuant to the invention, such sensors or devices are to be used for determining the composition of mixtures of two or more gases. Filters 11a, 11b, as well as detectors 5a, 5b of the inventive device are produced by methods of silicon micromechanics. The device is one in which filters 11a, 11b and detectors 5a, 5b are provided integrated in a single device. The first chip or also detector chip 1 is produced completely by surface micromechanics. Detector structure 5a, 5b is subsequently capped. Pursuant to the invention, discrete static filters are provided in the cap and are placed for filtering the absorption and reference bands over detector structures 5a, 5b. Particularly on the upper side of the second chip, the device of the present invention may include further pass-filter layers 13, which suppress higher orders of the Fabry-Perot filters or of filters 11a, 11, which leads to an absorption at shorter wavelengths. In comparison to previously known devices, the device or sensor of the present invention has several decisive advantages, particularly relating to cost-effective producibility by batch processing using silicon micromechanics, to a comparatively simple construction or to a simple construction and connecting technique and to the possibility of integrating several filter arrays for 2 to more than 6 gases.

In Figure 3, the construction of a Fabry-Perot filter is shown schematically. Such a structure, as a whole, is labeled 11. A structure of this type may be used in the device of the present invention. In principle, a Fabry-Perot filter 11 is made of two plane-parallel mirrors, between which there is a medium 24, which determines the optical path and, with that, the central

wavelength of the pass filter function. The thickness and the refractive index of filter cavity 24 or of medium 24 determine the average filter wavelength. The reference wavelength and the analysis wavelength of the device are adjusted by the design of this medium 24 or of this filter cavity 24, namely, by whether it is a monolayer or a multilayer, by its layer thickness and its refractive index. The two mirrors of Fabry-Perot filter 11 are produced, for example, by a jump in the refractive index between the material of medium 24 and the material of second substrate 10 or between the material of medium 24 and the material of covering layer 23. In order to sharpen the filter characteristics of Fabry-Perot filter 11, second substrate 10 and covering layer 23 may also be produced from multilayers or from semi-transparent metal layers. Pursuant to the invention, covering layer 23 is made from a material which is resistant to the processes for cap patterning, such as KOH etching or the like, or to processes for patterning dielectric layers during filter production, such as HF etching. Pursuant to the invention, the use of a layer sandwich for producing filters 11a, 11b is preferred for first filter 11a, and for second filter 11b, polysilicon, silicon dioxide and/or silicon nitride being selected as material for covering layer 23. The width of the filter function is determined by the degree of reflectivity of the mirrors.

What Is Claimed Is:

1. A device for detecting radiation signals, having a first detector (5a), having a second detector (5b), having a first filter (11a) and having a second filter (11b), wherein the first and second detectors (5a, 5b) are provided on a first chip (1), the first and second filters (11a, 11b) are provided on a second chip (2), and the first chip (1) and the second chip (2) are connected to one another in hermetically sealed fashion, especially by a wafer-bonding method.
2. The device as recited in Claim 1, wherein the detectors (5a, 5b) are provided as thermopiles, temperature-sensitive resistors or temperature-sensitive diodes.
3. The device as recited in one of the preceding claims, wherein an absorber layer (9) is provided on at least one of the detectors (5a, 5b).
4. The device as recited in one of the preceding claims, wherein the first chip (1) includes a first substrate (4), the first and second detectors (5a, 5b) being thermally decoupled from the first substrate (4).
5. The device as recited in one of the preceding claims, wherein the first and/or the second filter (11a, 11b) is a Fabry-Perot filter.
6. The device as recited in one of the preceding claims, wherein, in addition to the first and second detectors (5a, 5b), further detectors are provided, and, in addition to

the first and second filters (11a, 11b), further filters are provided.

7. A device for measuring the concentration of a substance in the beam path of a radiation source using a device for detecting radiation signals as recited in one of the preceding claims.

Abstract

A device for detecting radiation signals and a device for measuring the concentration of a substance are described, a first detector (5a) and a second detector (5b) being provided on a first chip (1), and a first filter (11a) and a second filter (11b) being provided on a second chip (2), the first chip (1) and the second chip (2) being connected to one another in hermetically sealed fashion.